

Módulo Posterior de un Receptor en Banda Ka para Aplicaciones de Radioastronomía

Juan Luís Cano, Beatriz Aja, Enrique Villa, Luisa de la Fuente, Eduardo Artal.

juanluis.cano@unican.es

Dep. Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria. Av. de los Castros s/n, 39005, Santander

Abstract— This paper presents the design, simulation and measurement of the Back-End Module (BEM) first prototype for the QUIJOTE project, which is a new ground-based experiment for characterizing the Cosmic Microwave Background (CMB) polarization. The system is a broadband direct conversion receiver based on low noise amplification, band pass filtering and Schottky diode detection working in the Ka band. System simulations have been carried out combining individual subsystem measurements and non-linear models to validate the proposed configuration. Measurements show more than 30 dB of RF gain over the 26 to 36 GHz band with a noise figure around 3.5 dB. Detected voltage is in the range 1-10 mV which meets the application specifications.

I. INTRODUCCIÓN

El fondo cósmico de microondas (CMB, Cosmic Microwave Background) es de gran interés entre la comunidad científica por ser considerado la prueba fundamental de la teoría del Big-Bang. Junto con las misiones espaciales, como la misión Planck de la ESA [1] que será lanzada este año, existen proyectos en tierra concebidos para medir parámetros adicionales del CMB, además de complementar los datos enviados por los satélites.

QUIJOTE (Q U I JOINT TENERIFE CMB experiment) es un nuevo proyecto, que se instalará en el observatorio del Teide, cuyo objetivo es caracterizar la polarización del CMB y otros procesos de emisión galácticos. Estas medidas complementarán las obtenidas por la misión Planck, corrigiendo la contaminación galáctica [2].

Los radiómetros de QUIJOTE, mostrados en la Fig.1, están basados en el esquema de Planck [3]. Estos radiómetros se componen de un módulo anterior (FEM, Front-End Module) que opera a temperaturas criogénicas, $T_a = 20$ K, y un módulo posterior (BEM, Back-End Module) el cual trabaja a temperatura ambiente, $T_a = 296$ K.

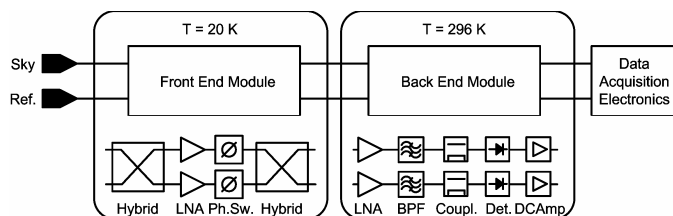


Fig. 1. Esquema del radiómetro de QUIJOTE.

Este documento presenta los resultados obtenidos con el primer prototipo del BEM en banda Ka, los cuales satisfacen las especificaciones preliminares detalladas en la Tabla I. Esto

prueba la viabilidad del esquema seleccionado para cumplir los objetivos del proyecto.

TABLA I
ESPECIFICACIONES INICIALES DEL BEM DE QUIJOTE

Ancho de Banda, BW	26 a 36 GHz
Potencia de entrada	-53 dBm (esperada del FEM)
Voltaje DC detectado	En el rango 1 – 10 mV
Conexión de entrada	Guía de onda WR-28
Conexiones de salida	Salida RF: conector 2.92 mm Salida DC: voltaje detectado
Figura de ruido, NF	< 4.35 dB ($T_e < 500$ K)

II. DISEÑO DEL MÓDULO POSTERIOR

El prototipo de módulo posterior diseñado de la Fig. 2 es una versión simplificada del presentado en la Fig.1. El acoplador y el amplificador de vídeo se han omitido mientras que el detector ha sido montado en un módulo aparte. Esto último permite un diseño y medida en paralelo de las partes de DC y RF.

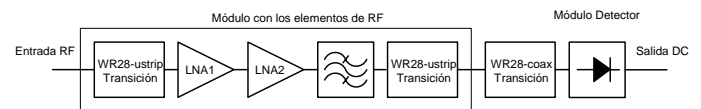


Fig. 2. Prototipo del BEM diseñado.

A. Transición WR28 a microstrip

La entrada del módulo posterior es en guía de onda WR28 la cual cubre toda la banda de interés. La transición a microstrip es de tipo Ridge y ha sido diseñada con el programa HFSS [4]. La sección longitudinal de la transición se muestra en la Fig. 3. El grosor de la aleta es de 1 mm.

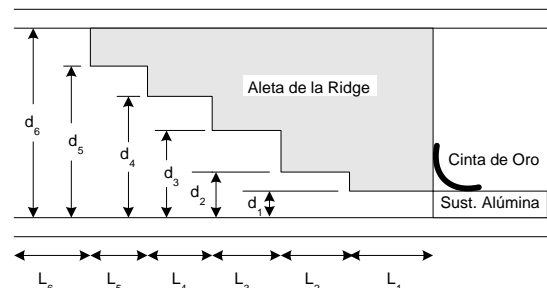


Fig. 3. Corte longitudinal de la transición diseñada.

TABLA II
DIMENSIONES E IMPEDANCIAS CARACTERÍSTICAS DE LA TRANSICIÓN

i	$Z_c (\Omega)$	d_i (mm)	L_i (mm)
1	50.5	0.25	3
2	63.92	0.35	2.37
3	98.99	0.65	2.41
4	192.05	1.50	2.56
5	315.42	2.60	2.79
6	387.91	3.56	1.86

La transformación de impedancias desde la línea microstrip hasta la guía se consigue a través de cinco secciones, donde la primera sección tiene la misma altura (d_1) que el sustrato. La Fig.4 muestra los resultados de la medida de la transición medidos en configuración back-to-back.

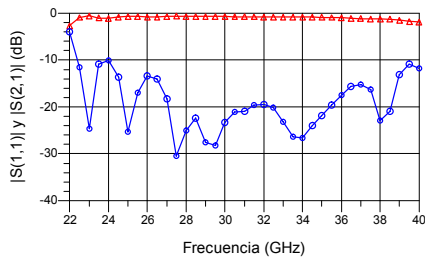


Fig. 4. Resultados medidos de la transición Ridge: $S(2,1)$ (triángulos rojos) y $S(1,1)$ (círculos azules).

B. Amplificadores de bajo ruido (LNAs)

Para satisfacer las especificaciones son necesarios unos 30 dB de ganancia en el BEM. Esta ganancia se consigue a través de dos MMICs disponibles comercialmente. El primer LNA es el AMMC-6241 de Avago Technologies, mientras que el segundo LNA es el ALH140 de NGST. Estos MMICs se han medido usando una estación de sondas coplanar junto con transiciones coplanar-microstrip de PicoProbe para incluir los efectos de los hilos de bonding.

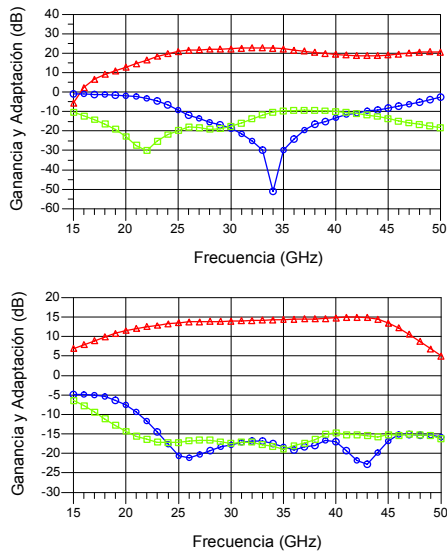


Fig. 5. Características medidas del (a) AMMC-6241 y (b) ALH140: S_{21} (triángulos rojos), S_{11} (círculos azules) y S_{22} (cuadros verdes). Valores típicos de polarización proporcionados por los fabricantes.

C. Filtro paso banda

La Fig. 6 muestra el filtro paso banda diseñado. Como la banda de diseño es difícil de cubrir con un filtro de líneas acopladas se ha elegido una configuración con stubs sobre alúmina ($\epsilon_r = 9.9$ y $h = 254 \mu m$). Las medidas se han realizado utilizando transiciones microstrip-coplanar de JMicro y los resultados se muestran en la Fig. 7. Las pérdidas de inserción son menores de 0.8 dB en la banda mientras que las pérdidas de retorno son mejores de 10 dB.



Fig. 6. Filtro paso banda diseñado junto con las transiciones a coplanar.

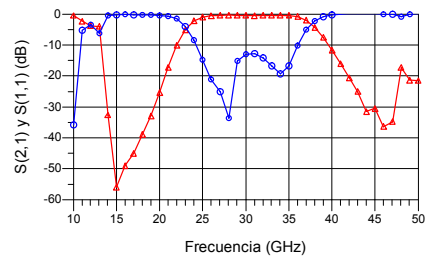


Fig. 7. Medidas del filtro: $S(2,1)$ (triángulos rojos) y $S(1,1)$ (círculos azules).

D. Detector

El diodo Schottky MZBD-9161 de Aeroflex Metelics se ha utilizado para diseñar un detector cuadrático. El detector se ha diseñado sobre alúmina, la cual tiene una capa resistiva de TaN de 20 Ohm/cuadro. Las resistencias distribuidas de capa fina se utilizan para aplanar la respuesta en frecuencia y conseguir una buena adaptación de entrada.

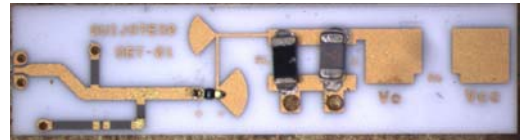


Fig. 8. Detector cuadrático diseñado.

El detector se diseñó junto con una transición a coplanar para poder tomar medidas antes de ser montado en su módulo. Los resultados de estas medidas se muestran en las Figs. 9 y 10.

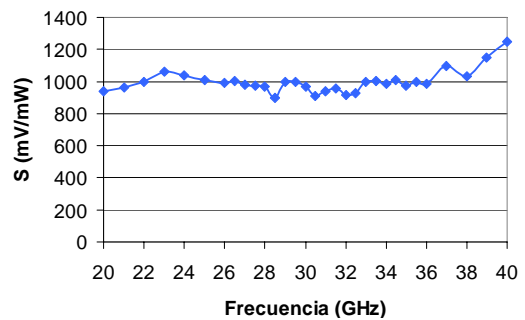


Fig. 9. Sensibilidad del detector vs. frecuencia con $P_{in} = -30$ dBm.

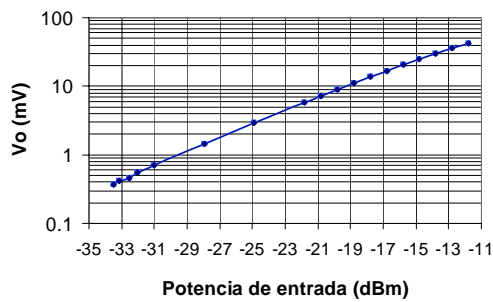


Fig. 10. Característica de compresión a $f_{in} = 31$ GHz. $P_{1dB} = -13.8$ dB.

En este primer prototipo del receptor el detector se ha montado en un módulo independiente, lo cual permite mayor flexibilidad en las pruebas ya que las partes de RF y DC están separadas. La adaptación de entrada del módulo del detector se muestra en la Fig. 11.

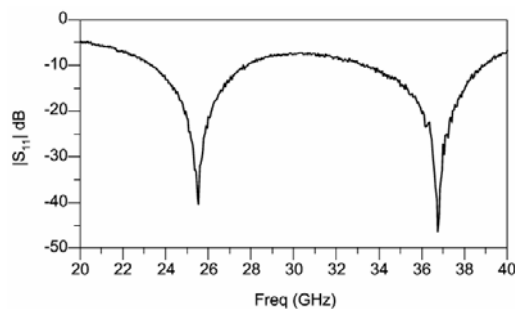


Fig. 11. Adaptación de entrada del módulo detector.

III. SIMULACIÓN

Para simular el BEM se han utilizado los parámetros-S de los diferentes subsistemas lineales medidos. Para simular el diodo se ha utilizado un modelo no lineal del mismo [5].

La simulación se ha llevado a cabo con el programa ADS de Agilent Technologies usando balance armónico (HB) y parámetros de Scattering de gran señal (LSSP) [6]. Los resultados de la simulación se presentan, junto con las medidas, en las Figs. 13, 16-17 para su mejor comparación.

IV. RESULTADOS DE LA MEDIDA DEL BEM

A. Resultados de la cadena de RF

La ganancia, adaptación de entrada y ruido del BEM se han medido en el módulo de RF. Los parámetros-S del sistema se han medido con el PNA E8364A de Agilent Technologies usando el kit de calibración R11644A para la banda WR28. El ruido se ha medido con el analizador de figura de ruido N8975A y la fuente de ruido R347C de Agilent Technologies.

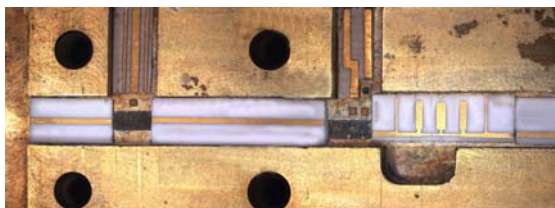


Fig. 12. Montaje de la cadena de RF del BEM.

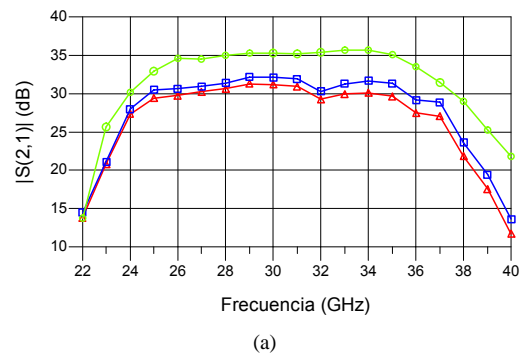


Fig. 13. Resultados del BEM, (a) Ganancia de RF y (b) Adaptación de entrada. Medidas con dos polarizaciones en el primer LNA: $V_{dd1} = 3$ V (triángulos rojos) y $V_{dd1} = 2$ V (cuadros azules). Los resultados de simulación se muestran en verde.

Dado que la banda de trabajo excede el rango de medida del analizador de figura de ruido es necesario utilizar una etapa conversora, la cual formará parte del sistema de medida una vez calibrado éste. En la Fig. 14 se muestra un esquema del sistema de medida de ruido.

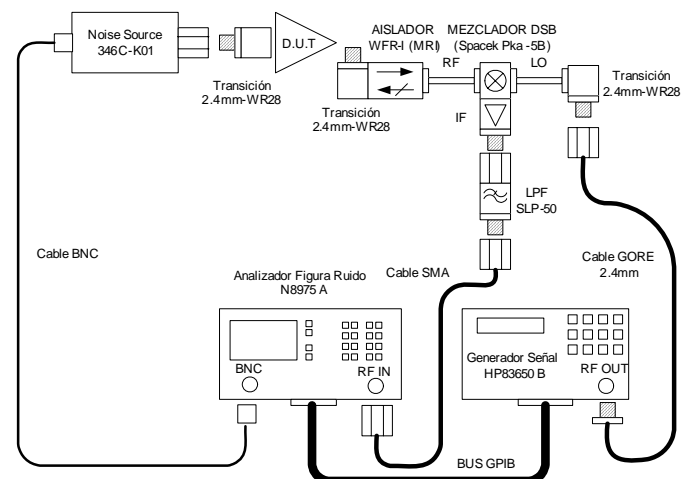


Fig. 14. Esquema del sistema de medida de ruido en la banda de 30 GHz.

La Fig. 15 muestra los resultados obtenidos en la medida del ruido, resultando un valor alrededor de 3.5 dB el cual cumple satisfactoriamente las especificaciones.

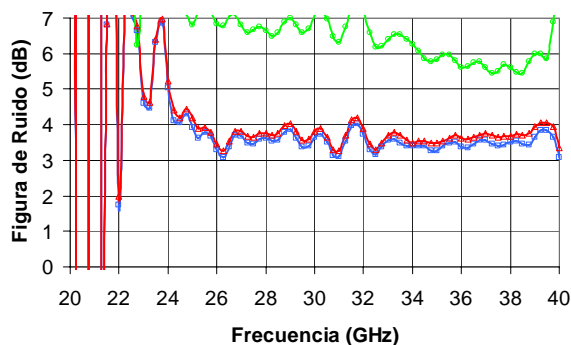


Fig. 15. Ruido del BEM para distintas polarizaciones del primer LNA: $V_{dd1} = 3.5$ V (triángulos rojos), $V_{dd1} = 2$ V (cuadros azules) y $V_{dd1} = 1.5$ V (círculos verdes).

B. Resultados de la conversión RF-DC

Para medir la conversión RF a DC, el módulo detector se conecta a la cadena de RF mediante una transición guía-coaxial. Como generador de la señal de RF se utiliza el generador de barrido 83650B de Hewlett-Packard.

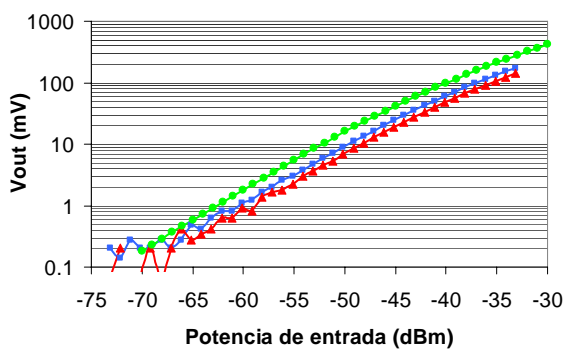


Fig. 16. Tensión DC de salida frente a potencia de RF de entrada a $f_{in} = 31$ GHz para diferentes puntos de polarización del primer LNA: $V_{dd1} = 3$ V (triángulos rojos) y $V_{dd1} = 2$ V (cuadros azules). Los resultados de simulación se representan con círculos verdes.

Las medidas por debajo de -65 dBm de potencia de entrada están afectadas por el ruido del sistema de medida.

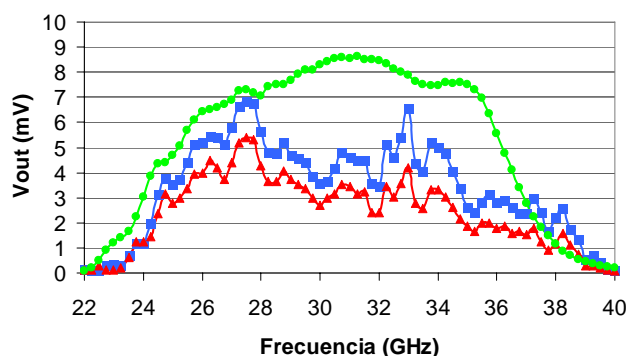


Fig. 17. Tensión DC de salida frente a la frecuencia de entrada con $P_{in} = -53$ dBm para diferentes puntos de polarización del primer LNA: $V_{dd1} = 3$ V (triángulos rojos) y $V_{dd1} = 2$ V (cuadros azules). Los resultados de simulación se muestran con círculos verdes.

La tensión DC de salida se encuentra en el rango de 1 a 10 mV para una potencia de entrada de -53 dBm, lo cual cumple las especificaciones preliminares.

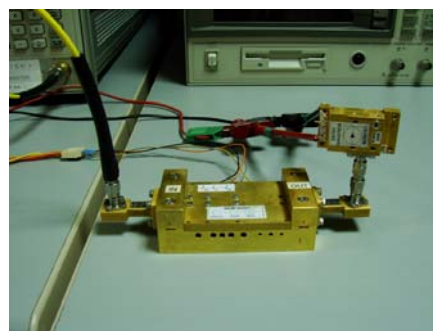


Fig. 18. Módulos de RF y detector durante la toma de medidas.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado el diseño, simulación y medida del primer prototipo del módulo posterior del receptor en la banda Ka del proyecto QUIJOTE.

Se han mostrado detalles de diseño y medidas de cada uno de los subsistemas que componen el receptor como son transiciones guía a microstrip, amplificadores de bajo ruido, filtro paso banda y detector.

Las medidas individuales anteriores, junto con modelos no-lineales del detector, se han utilizado para la simulación del sistema completo.

Tanto la simulación como los resultados de la medida del sistema completo prueban la viabilidad del esquema, con una figura de ruido en torno a 3.5 dB y un nivel de tensión de DC de salida en el rango 1 – 10 mV, cumpliendo las especificaciones preliminares.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia bajo el Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica AYA2007-68058-C03-03 y la beca FPI BES-2005-6730.

REFERENCIAS

- [1] <http://planck.esa.int>
- [2] Comunicación interna.
- [3] M. Bersanelli, N. Mandolesi, J. Martí-Canales, "Multi-band Radiometer for Measuring the Cosmic Microwave Background", *Proceedings of 32nd European Microwave Conference*, Milan, Italy, September 2002, pp 547-550.
- [4] B. Aja, "Amplificadores de banda ancha y bajo ruido basados en tecnología de GaAs para aplicaciones de radiometría", Ph. D. thesis, Universidad de Cantabria, Santander, Spain, Jan. 2007. ISBN. 978-84-690-5926-5.
- [5] "MZBD-9161 Zero bias beamlead detector diode" datasheet. Aeroflex Metelics.
- [6] "Diode detector simulation using Agilent Technologies Eesof ADS software", AN1156, Agilent Technologies.